

砥石－工作物垂直送り研削試験とその研削機構に関する研究

井 上 誠*・星 野 聡**・西 敏 志***・湊 寿 雄*

A Study on the vertical infeed grinding test and grinding mechanism

Makoto INOUE, Satoshi HOSHINO, Toshiyuki NISHI and Kazuo MINATO

In this paper the simple and useful grinding test is proposed in which wheel head is fed continuously toward the workpiece. The grinding forces of usual grinding such as surface, cylindrical and internal grinding is able to be predicted precisely by the test. Further the actual grain cutting deformation is observed and measured on the contact area of workpiece which is suddenly separated from wheel surface by the striking apparatus. Following characteristics that are important on the consideration of grinding mechanism are obtained. Many swelled flows occur along the cut groove. And large groove are made by more than two cutting edges on one grain. So its grain depth is not so large.

Key Words: Vertical infeed grinding / Grinding test / Grinding mechanism / Swelled flow / Groud groove

1. はじめに

研削仕上げ面性状や砥石の性能向上などのために実際の研削加工中の個々の砥粒による切削機構の解明は重要であり、従来から多くの研究がなされてきた。中でも単一の砥粒による切削現象の解明や研削仕上げ面の測定から実際の研削機構の推察を行なう試みは多く成されており、有益な情報を提供してきた。次の段階としては多数の切れ刃が互いに干渉しあいながら切削作用を行なう場合の集合として捕えるべき、より現実的かつ詳細な研削現象の解明と思われる。そこで、本研究では、研削中の工作物を打撃によって急速に砥石から分離する装置を使用し、砥石－工作物接触面の過渡的な研削状態を測定して研削機構の究明を試みた。その結果、個々の砥粒が通過する切削痕の形状をある程度定量的に補そくすることができ、解明の端緒に着くことができた。実験においては通常の平面、円筒あるいは内面研削方式では工作物の移動が速く装置の適

用が困難であり、砥石－工作物接触面での砥粒切削状態が接触弧に沿って複雑に変化するなどの複雑さのため、工作物と砥石中心を相対的に近づけながら研削する単純な砥石垂直切り込み方式を採用した。この研削方式はまた、平面、円筒あるいは内面研削作業において未知の材料についての被研削性を事前に知るための簡便で有力な研削試験法と成り得ることも確かめ得た。これらのことについて報告する。

2. 砥石－工作物垂直送り研削試験

まず、本研究において採用した研削法の特徴について検討した。砥石ヘッドを工作物に垂直に送りながら切り込む研削法は、比較的低速送りで連続的に変化させることにより、通常の平面、円筒あるいは内面研削での任意の工作物速度における砥石－工作物接触面の砥粒切削状態に対応させ得ることや、比較的小さい寸法のステック状の工作物で試験できるなどの利点を持つため簡便な研削試験法と成り得る。図1に研削試験の概要を示す。動力計に工作物を保持して砥石の下に設置し、砥石ヘッドを垂直に送り込みながら研削を行なう。研削中に砥石切り込み速度を図示のように連続的に変化させれば、任意の工作物除去速度に対応する研削力も得ることができる。個々の砥粒の切削による

原稿受付：平成5年6月2日

*長岡技術科学大学機械系

**新潟職業訓練短期大学校

***豊田工機株式会社

平均切り屑断面積¹⁾に着目して研削抵抗を次のようにして表現できる. 図2において, 砥石周速度を V , 砥石ヘッドの送り速度を v_z とし, 一辺が単位長さ1なる面を有する直方体の工作物試験片を研削すると仮定する. 砥粒が研削面を擦過する間は砥粒切削断面積は同じに保たれる. このとき, 単位時間当たりに除去される工作物体積は v_z で, 砥石表面の平均砥粒切れ刃間隔を w とするとその間に関与する砥粒切れ刃数は V/w^2 であるから, 砥粒一個当たりの平均除去体積は $w^2 (v_z/V)$ となる. 接触弧の長さは1であるから結局平均切り屑断面積 a_m は

$$a_m = w^2 (v_z/V) \quad (1)$$

と表わせる.

一方, 砥粒切れ刃一個当たりに作用する接線方向研削抵抗 f_t は, 研削方向に垂直な面に作用する単位面積当たりの研削抵抗すなわち比研削抵抗を σ とすると σa_m と表わせる. 一般に比研削抵抗 σ は平均切り屑断面積 a_m の指数乗に逆比例することが知られているから, 比例定数を k 指数を ϵ とすると $ka_m^{-\epsilon}$ と表わせる. したがって, f_t は

$$f_t = ka_m^{1-\epsilon} \quad (2)$$

となる. 同時研削砥粒切れ刃数 $1/w^2$ を考慮すると全研削抵抗 F_t は式(1)及び式(2)から次式で表わせる.

$$F_t = Kw^{-\epsilon} (v_z/V)^{1-\epsilon} \quad (3)$$

ここで, $Kw^{-\epsilon}$ は工作物と砥石の組み合わせが同じであれば一定の定数とみることができる. 法線方向の研削抵抗 F_n は F_t に比例定数 λ をかけて

$$F_n = \lambda F_t \quad (4)$$

なお, 平面研削における工作物単位幅当たりの接線および法線方向の研削抵抗 F_{pt} かおよび F_{pn} は, 砥石直径 D , 砥石切り込み深さ Δ , 工作物速度 v とすると, 同じ定数を使用して,

$$F_{pt} = Kw^{-\epsilon} (v/V)^{1-\epsilon} \Delta^{1-\epsilon/2} \quad (5)$$

$$F_{pn} = \lambda F_{pt}$$

と表せる¹⁾. 円筒あるいは内面研削に対してもほぼ同じように表わせる. 式(3), (4)および(5)から明らかなように, 砥石-工作物垂直送り研削試験から定数 $Kw^{-\epsilon}$ および指数 ϵ が得られれば, 平面, 円筒あるいは内面研削における任意の条件の研削抵抗が推定できることがわかる. そこで, 実験によりこのことを確認した. 圧電型動力計で接線および法線方向の研削抵抗を検出した. 工作物は鋼材 S50C 調質で幅 2 mm, 円筒方向長さ 3 mm とし, 砥石は WA46Jm8V, 寸法 180mm ϕ × 20mm を使用した. ドレッシング後若干量の予備研削を施した. 砥石周速度の影響も検討するため 369 および

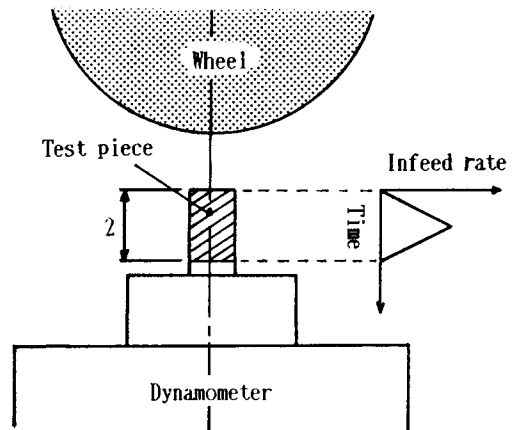


Fig 1 Schematic of the continuous infeed grinding test

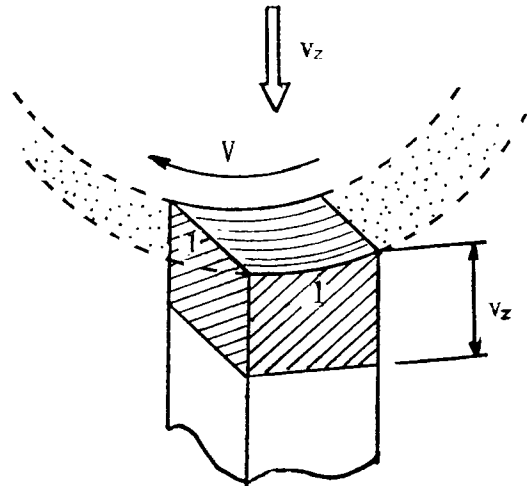


Fig 2 Model of the grinding mechanism

837m/min の 2 条件で湿式研削した. 垂直方向の砥石送り速度は図1に示すダイアグラムに沿って, それぞれ最大0.35および0.7mm/s程度まで手動的に変化させた. この間の工作物除去長さはおよそ2 mmとした. これらの最大送り速度は通常の平面研削において砥石速度1500m/min, 工作物送り速度10m/min および砥石切り込み深さ10 μ m とおなじ条件の砥粒切り屑断面積にほぼ対応する. 図3および図4にそれぞれ砥石周速度396及び837m/minでの速度比と単位面積当たりの研削抵抗分力の関係を示す. 同図の曲線は式(3)および(4)にしたがって最小自乗法で求めた. 砥石周速度の違いによる相違はほとんどみられない. 次に, これらの結果を用いて平面研削における研削抵抗分力を推定し, 実験により検討した. 図5, 6および図7にそ

の結果を示す。図5および図6は砥石切り込み深さ $\Delta=10\mu\text{m}$ とし、テーブル速度を変化させており、図7はテーブル速度 $v=1.8\text{m/min}$ に固定して砥石切り込み深さを变化させた。図示の曲線は垂直送り試験の結果から算出した推定値を示す。いずれも比較的良好な一致が得られ、提案する研削試験法が有効であるといえる。

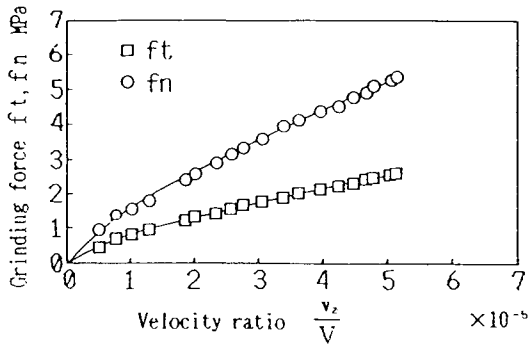


Fig 3 Relationship between grinding force and velocity ratio ($V=369\text{m/min}$)

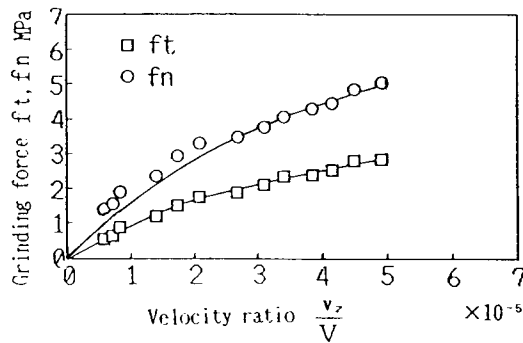


Fig 4 Relationship between grinding force and velocity ratio ($V=837\text{m/min}$)

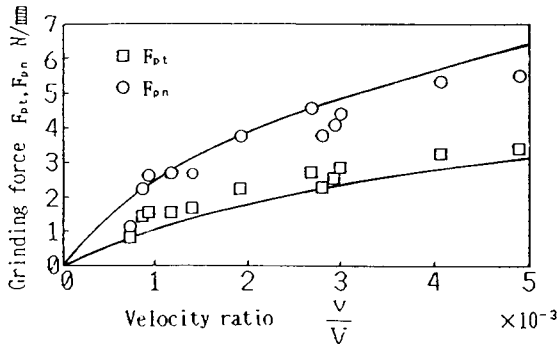


Fig 5 Estimation of grinding force in surface grinding ($V=396\text{m/min}$)

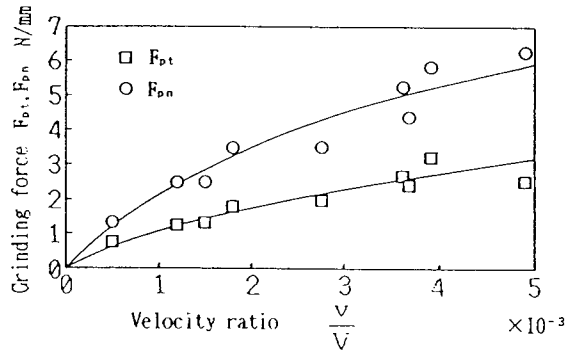


Fig 6 Estimation of grinding force in surface grinding ($V=837\text{m/min}$)

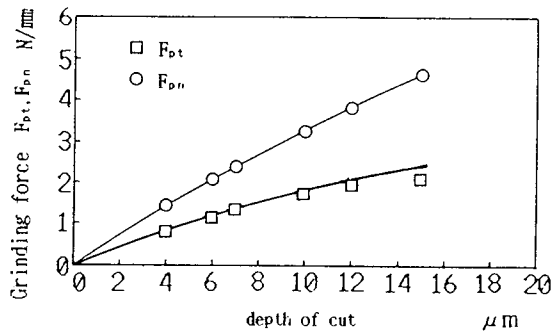


Fig 7 Estimation of grinding force in surface grinding ($V=837\text{m/min}$, $v=1.8\text{m/min}$)

3. 砥粒切削状態の観察と測定

砥石を垂直に送り込む研削では低い送り速度で微小な工作物を使用でき、また、接触弧の溝は一定である等の特徴がある。そこで小さい工作物を打撃によって急速に砥石から放し、個々の砥粒切れ刃の切削状態を凍結して観察する方法は研削状態を推察する一つの有力な手段と考えられる。そこで、微小試験片を固定した移動バイスを適当な摩擦力で面V案内面に取り付け、研削途中に打撃によりバイスを斜め下方に移動させる装置²⁾を使用する。その概要を図8に示す。工作物研削面の幅は 1.5mm 、研削方向長さは 3mm とした。図9(a)に示す測定法により、バイスに固定したスリットを通過する光を位置検出センサで感知し、その移動距離を電圧に変換して測定した例を同図(b)に示す。横軸はスリットが動きだしてから時間を示し、縦軸は移動距離を示す。本研削条件における砥粒切り込み深さを最大数 μm と概算し³⁾、砥石と工作物が干渉し合

う深さを倍の $10\mu\text{m}$ 程度に見積もってもその間の移動時間は砥粒切れ刃が接触面を通過する時間に比べて十分小さいことがわかる。ただ、移動中にも切削は続行されるからなるべく低い砥石速度で実験することが望ましい。低砥石速度でも比較的良好な研削面が得られる軟質塩化ビニールを工作物に選び、砥石周速度 60m/min (1m/s)で実験を行った研削面の観察例を図10に示す。切削痕の側方や前方に切り屑排出状態が観察される。しかし、研削溝にはむしろかなり見られ、切

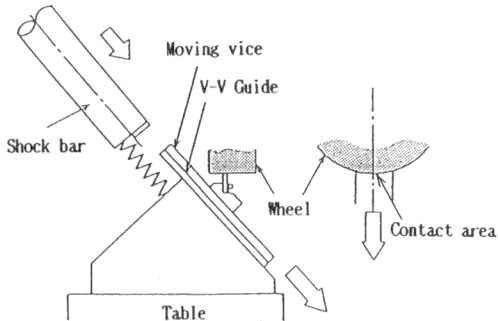
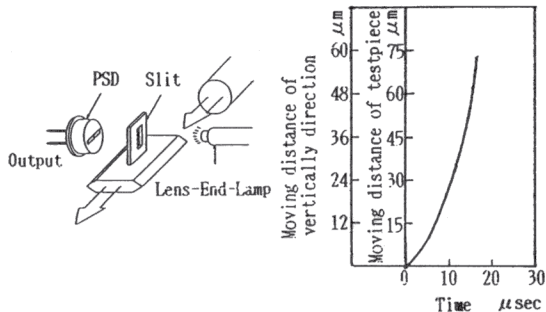


Fig 8 Schematic model of the apparatus to separate the workpiece instantaneously from wheel by strike



(a) Measuring setup (b) Measured result
Fig 9 Movement of the workpiece by apparatus

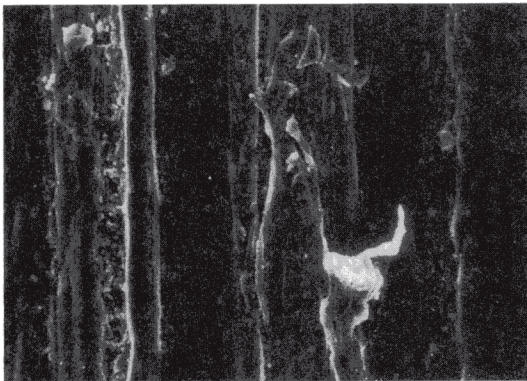


Fig10 An instance of deformed chip in slow wheel velocity

り屑排出形態の定量的な測定には難がある。そこで、前述の鋼を工作物とし切削痕形状の定量的な測定により、研削機構を推察した。図11に示す要領で、顕微鏡により切削痕先端を追跡しながらその前後の断面形状を粗さ測定器により記録し、重ね合わせて砥粒切削状態を推察する。連続する切削痕は接触弧の方向に対して一様であるから、切削途中の除去溝や盛り上がり部分のみが断面形状の相違として現われ、その他の前後の断面形状は良好に一致する。研削条件は砥石周速度 837m/min 、砥石送り速度 0.5mm/s とし、湿式である。

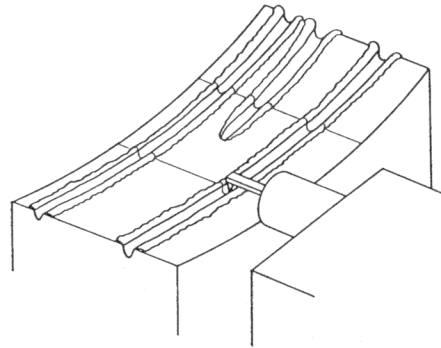


Fig11 Schematic of groove measurement

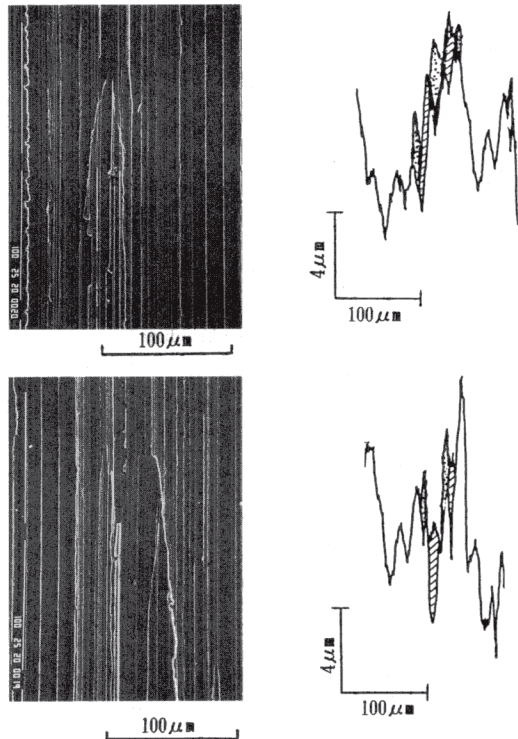


Fig12 SEM photograph of groove and its sectional figure

図12に切削痕先端のSEM観察例とその断面形状の測定例を示す。断面形状の中で▨模様は切削溝を、▤模様は盛り上がりを示す。SEM観察例から複雑な切削痕先端形状が伺えるように、断面形状から切削溝の近くにかかなりの大きさの盛り上がり部も見られる。また、一つの砥粒が二つの切れ刃を持ち、各々が切削溝をつくることもわかる。これらの断面形状と砥粒切削幅の関係を図13に示す。横軸は一つの砥粒が形成する切削痕先端付近の溝幅で、縦軸は切削溝や盛り上がり部の断面積を前述の模様で示す。複数の場合も模様を仕切って示している。少ないサンプルではあるが研削機構について大略次のような特徴がつかめる。かなりの寸法の盛り上がり壁が形成される場合が多く、また、切削痕幅の増大に伴い、砥粒切り込み深さが大きくなるよりもむしろ二つ以上の切れ刃により切削溝が形成される傾向がみられる。

4. おわりに

砥石を工作物に垂直に送り込む研削試験法は微小な試験片で簡便かつ精度良く平面、円筒あるいは内面研削作業での研削動力の予測ができる有力な方法であることが確かめられた。さらに、この研削法の特徴を利用し、研削途中の工作物を急速に移動させて切削痕を観察し、切削痕先端前後の断面形状の重ね合わせによりその形状を測定した。その結果、盛り上がりが多くみられ、また、砥粒切削幅が大きい場合は複数の切れ刃が切削痕を形成する傾向があるなど実際の干渉面における特徴的な砥粒切削状態を概略掴むことができた。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費（一般研究(c)02650089）の補助により、ここに感謝致します。

参考文献

- 1) 小野浩二, 研削仕上げ, P21, 積書店, 昭和37年
- 2) 井上誠, 池田政行, 原康夫, 安福誠一, 1990年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, P225, 1990
- 3) 松井正己, 庄司克雄, 精密機械, 36(3), P196, 1970

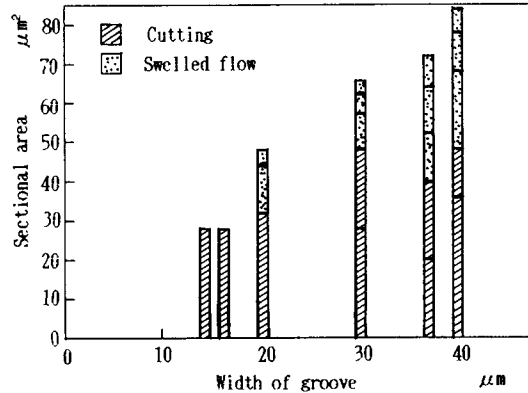


Fig13 Relationship between sectional area and width of groove